

**KAJIAN KUAT LENTUR PELAT BERTULANG BIASA DAN PELAT
BETON BERTULANGAN KAYU DAN BAMBU
PADA TUMPUAN SEDERHANA**

Naskah Publikasi

untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana-1 Teknik Sipil



diajukan oleh :

ARIANTO
NIM : D 100 090 039

kepada:

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2013**

LEMBAR PENGESAHAN

**KAJIAN KUAT LENTUR PELAT BERTULANG BIASA DAN PELAT
BETON BERTULANGAN KAYU DAN BAMBU
PADA TUMPUAN SEDERHANA**

Naskah Publikasi Tugas Akhir ini telah diajukan dan disetujui untuk memenuhi
sebagai persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1 Teknik Sipil
Universitas Muhammadiyah Surakarta

diajukan oleh :

ARIANTO

NIM : D 100 090 039

Menyetujui,
Pembimbing Utama



Basuki, S.T. M.T.
NIK : 783

TINJAUAN KUAT LENTUR PELAT BETON BERTULANG BIASA DAN PELAT BETON BERTULANGAN KAYU DAN BAMBU PADA *SIMPLE BEAM*

ARIANTO

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp. 0271717417
Email : anto_ari33@yahoo.com

ABSTRAKSI

Perkembangan rekayasa teknologi dalam bidang teknik sipil pada saat ini terasa begitu cepat, yaitu beton sebagai salah satu unsur teknik sipil yang selalu mengalami perkembangan. Struktur yang terbuat dari beton antara lain lantai, atap, plat lantai (*decks*) jembatan, dan bangunan gedung-gedung bertingkat. Oleh karena itu perlu dibuat jalan keluar dengan mengembangkan pembuatan pelat beton pra cetak menggunakan tulangan kayu dengan perkuatan bambu. Kayu dan bambu dipilih karena memiliki nilai ekonomis lebih dibanding dengan tulangan dari besi baja, sehingga tepat bila menggunakan kayu dan bambu sebagai alternatif tulangan pelat lantai beton. Sedangkan bambu dipilih sebagai perkuatan karena memiliki kuat lentur yang baik, sehingga tulangan dari kayu akan lebih kuat. Bambu yang digunakan sebagai tulangan dipecah, dibuat bentuk kotak (posisi kulit dibawah) setebal kira-kira 0,5 cm dengan lebar sesuai ukuran kayu, yang berasal dari Wonogiri, kayu dan bambu dalam keadaan kering udara. Perencanaan beton dengan berdasarkan perbandingan antara semen, pasir, dan kerikil adalah sesuai SK.SNI.T-15-1990-03 $f'c = 20$ MPa. Faktor air semen (f.a.s) yang digunakan adalah 0,5.

Tujuan dari penelitian ini adalah: untuk membandingkan kuat lentur pelat beton bertulangan baja dengan pelat beton bertulangan kayu yang memiliki kekuatan yang setara, untuk mengetahui kenaikan kuat lentur pelat beton bertulangan kayu, jika diperkuat dengan bambu, dan untuk mengetahui perbedaan kuat lentur pelat beton bertulang secara pengujian dengan kuat lentur pelat beton bertulang secara analisis. Dalam penelitian ini, kayu dan bambu yang digunakan adalah kayu Jati dan bambu Petung.

Metode penelitian ini ada beberapa tahap. Tahap pertama yaitu persiapan alat dan bahan. Tahap kedua meliputi: pemeriksaan bahan, perencanaan campuran dan pembuatan adukan beton. Tahap ketiga yaitu pembuatan benda uji dan perawatan. Tahap keempat yaitu pengujian kuat tekan beton dan kuat lentur pelat. Tahap kelima yaitu analisa data, pembahasan dan kesimpulan.

Hasil dari penelitian ini adalah: momen kapasitas pelat beton bertulang baja 13,256 kN.m, momen kapasitas pelat beton bertulang kayu 19,42 kN.m, sedangkan untuk momen kapasitas pelat beton bertulang kayu yang diperkuat dengan bambu 20,756 kN.m.

Hasil momen kapasitas secara analisis, pelat beton bertulang baja 9,909 kN.m, momen kapasitas pelat beton bertulang kayu 20,378 kN.m, sedangkan untuk momen kapasitas pelat beton bertulang kayu yang diperkuat dengan bambu 22,052 kN.m.

Kata kunci : bambu, kayu, momen lentur, pelat.

PENDAHULUAN

Laju pertumbuhan ekonomi bangsa Indonesia pada saat sekarang ini cukup tinggi. Hal ini berakibat perkembangan pembangunan berjalan dengan pesat sehingga kebutuhan bahan struktur terus meningkat. Beton merupakan elemen struktur bangunan yang telah dikenal dan banyak dimanfaatkan sampai saat ini. Beton juga telah banyak mengalami perkembangan-perkembangan baik dalam teknologi pembuatan campurannya ataupun teknologi pelaksanaan konstruksinya.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah seberapa besar kuat lentur pelat beton bertulangan baja dan pelat beton bertulangan kayu dan bambu. Seberapa kenaikan kuat lentur pada pelat beton bertulangan kayu dan bambu dibandingkan pelat beton bertulangan baja.

Tujuan yang ingin diharapkan dari penelitian ini adalah membandingkan kuat lentur pelat beton bertulangan baja dengan pelat beton bertulangan kayu yang memiliki kekuatan setara dengan kekuatan baja serta mengetahui kenaikan kuat lentur pelat beton bertulangan kayu, jika diperkuat dengan bambu.

Manfaat dari penelitian ini antara lain manfaat teoritis yaitu dapat memberikan analisis secara ilmiah tentang perbedaan kuat lentur pelat beton bertulangan biasa dan pelat beton bertulangan kayu dan bambu pada *simple beam*. Manfaat secara praktis yaitu dapat memberikan alternatif kayu dan bambu sebagai pengganti penulangan pada pelat beton bertulangan, yang memberikan efisiensi biaya.

Mengingat banyaknya permasalahan yang berhubungan dengan beton, maka dalam penelitian ini diberikan batasan masalah yang bertujuan untuk membatasi pembahasan agar tidak meluas dan pembahasannya menjadi jelas. Adapun yang menjadi batasan masalah adalah yang pertama bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain semen Portland jenis I merk gresik, pasir dari Klaten Jawa Tengah, kerikil dari Wonogiri, tulangan baja dari toko bahan bangunan di Surakarta, tulangan kayu jati berukuran 2,75 x 3 x 100 cm, tulangan bambu yang digunakan berasal dari Wonogiri yaitu bambu petung berukuran 2,75 x 0,5 x 100 cm. Yang kedua macam – macam pengujian antara lain pengujian kuat tekan beton berbentuk silinder

dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 3 buah pengujian kuat tarik baja tulangan berdiameter 8 mm pengujian kuat tarik kayu Jati berukuran 2,7 x 3 x 50 cm sebanyak 2 buah Pengujian kuat tarik bambu Petung berukuran 2,7 x 0,5 x 50 cm sebanyak 2 buah. Pengujian kuat lentur pelat beton bertulangan biasa berukuran 100 x 50 cm dengan tebal 12 cm sebanyak 3 buah. Pengujian kuat lentur pelat beton bertulangan kayu berukuran 100 x 50 cm dengan tebal 12 cm sebanyak 3 buah. Pengujian kuat lentur pelat beton bertulangan kayu dan bambu berukuran 100 x 50 cm dengan tebal 12 cm sebanyak 3 buah. Baja tulangan direncanakan dengan mutu sebesar $f_y = 240$ MPa. Beton direncanakan dengan mutu (kuat tekan) sebesar $f'_c = 20$ MPa. Perencanaan campuran adukan beton dengan menggunakan metode perbandingan berat antara semen, pasir, kerikil dan air sesuai SNI.T-15-1990-03, dengan faktor air semen sebesar 0,5. Bentuk penampang pelat beton bertulangan adalah persegi empat.. Beban yang bekerja pada benda uji adalah beban arah vertikal saja. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari.

TINJAUAN PUSTAKA

Pada umumnya pelat beton bertulangan dipakai sebagai lantai, atap dan dinding dari gedung-gedung, serta sebagai pelat lantai (docks) dari jembatan. Perletakan pelat pada balok dapat digolongkan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu pelat terjepit penuh, terjepit elastis, dan terletak bebas (Asroni, 2001). Beton merupakan campuran dari semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil/batu pecah), dan air. Semen berfungsi sebagai bahan pengikat/ perekat agregat kasar dan agregat halus yang merupakan komponen utama kekuatan tekan beton, sedangkan air sebagai bahan pembantu reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Mutu beton dibedakan atas 3 macam menurut kuat tekannya (Ali Asroni, 2010) yaitu :

1. Mutu beton dengan $f'_c \leq 10$ Mpa, digunakan untuk beton non struktur

(misalnya: kolom praktis dan balok praktis)

2. Mutu beton dengan $10 \leq f'_c \leq 20$ Mpa, digunakan untuk beton struktur (misalnya: kolom, balok, pelat maupun pondasi)

3. Mutu beton dengan $f'_c \geq 20$ Mpa,

digunakan untuk struktur beton yang direncanakan tahan gempa.

Kuat beton terhadap gaya tarik yang rendah, sehingga mudah retak oleh karena itu perlu diberi baja tulangan. Nilai kuat tekan dan tarik beton tidak berbanding lurus. Setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Nilai kuat tarik beton normal hanya berkisar antara 9% - 15% dari kuat tekannya. Kuat tarik beton yang tepat sulit untuk diukur. Nilai pendekatan yang diperoleh Dipohusodo (1994) dari hasil pengujian berulang kali mencapai kekuatan 0,50 - 0,60 kali $\sqrt{f_c}$, sehingga untuk beton normal digunakan nilai $0,5 \sqrt{f_c}$. Usaha untuk meningkatkan kuat tarik beton yaitu dengan penambahan baja tulangan pada pelat bertulang.

Suatu pelat beton bertulang sederhana (simple beam), menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, maka akan terjadi deformasi lentur didalam pelat tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, tegangan tekan terjadi pada bagian atas dan regangan tarik terjadi di bagian bawah dari penampang, besarnya kuat lentur beton dari benda uji dihitung dengan rumus:

$$M_{\text{pengujian}} = 1/4(P.L) + 1/8(q.L^2)$$

dengan :

P = Beban retak pertama, (kN).

b = Lebar benda uji, (mm).

h = Tinggi benda uji, (mm).

L = Jarak antar tumpuan, (mm).

q = Berat sendiri beton, (kN/mm).

Bahan pengganti tulangan baja yaitu kayu jati. Kayu Jati adalah jenis kayu keras yang bernilai tinggi. Serat yang unik dan ketahanannya terhadap cuaca tidak tertandingi oleh jenis kayu lainnya. Selain tidak mudah patah akibat beban di atasnya, kayu jati juga tidak membutuhkan banyak perawatan. Kayu jati mempunyai kuat tekan dan kuat tarik yang cukup baik, sehingga dapat digunakan dalam beton bertulang sebagai pengganti baja tulangan. Kayu jati memiliki modulus elastisitas (E) = 12500 MPa, kuat lentur (f_b) = 30 MPa, kuat tarik (f_t) = 28 MPa, kuat tekan sejajar serat ($f_{c//}$) = 30 MPa, dan kuat geser (f_v) = 4,9 MPa. Dan yang kedua sebagai pengganti tulangan yaitu bambu petung. Dari

penelitian Janssen (1980) terhadap sifat mekanik bambu dari spesies *Bambusa Blumana* berumur 3 tahun pada pembebanan 10 kg/cm² didapat, kekuatan lentur rata-rata 840 kg/cm², kuat geser 22,5 kg/cm² dan modulus elastisitas 200.000 kg/cm². Sedangkan Morisco (1999) dari hasil penelitian terhadap kuat tarik sejajar serat bambu didapat nilai 2000 kg/cm² – 3000 kg/cm². Bambu diambil bagian kulit dengan ketebalan $\pm 0,5$ cm dan lebar ± 2 cm. Pengambilan bagian kulit ini dengan pertimbangan bahwa bagian ini relatif cukup mendukung gaya tarik yang timbul akibat beban di atasnya.

LANDASAN TEORI

Pada prinsipnya, sistem penulangan pelat dapat dibagi menjadi 2 macam, yaitu : perencanaan pelat dengan tulangan pokok satu arah dan perencanaan pelat dengan tulangan pokok dua arah (Asroni, 2001). Pelat beton bertulang banyak digunakan pada bangunan teknik sipil, baik sebagai lantai bangunan, lantai atap dari suatu gedung, lantai jembatan maupun lantai dermaga. Beban yang bekerja pada pelat biasanya hanya diperhitungkan terhadap beban gravitasi, yaitu berupa beban mati dan beban hidup saja, yang mengakibatkan terjadi momen lentur. Oleh karena itu pelat juga direncanakan terhadap beban lentur (seperti pada balok). Bahan penyusun beton yaitu semen, pasir, kerikil dan air. Campuran semen dan air akan membentuk pasta semen, yang berfungsi sebagai bahan ikat. Sedangkan pasir dan kerikil merupakan bahan agregat yang berfungsi sebagai bahan pengisi dan sekaligus sebagai bahan yang diikat oleh pasta semen.

Bahan penyusun pembuatan benda uji antara lain:

1. Semen *Portland*

Semen yang digunakan untuk bahan beton adalah Semen *Portland* atau Semen *Portland* Pozolan. Semen *Portland* adalah semen hidrolik yang dihasilkan dengan menghaluskan *clinker*, terutama terdiri atas *silikat calcium* yang bersifat hidrolis, dengan *gips* sebagai bahan tambahannya. Semen *Portland* merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik bahan susun beton. Di dunia sebenarnya terdapat berbagai semen dan tiap macamnya digunakan untuk kondisi-

kondisi tertentu sesuai dengan sifat- sifatnya yang khusus. (Tjokrodimuljo, 1996).

2. Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton dan menempati kira-kira 70% dari volume beton.

Walaupun hanya sebagai bahan pengisi tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton atau *mortar*, sehingga dalam pemilihan agregat merupakan suatu bagian yang penting dalam pertumbuhan beton atau *mortar* (Tjokrodimuljo, 1996).

2a). *Agregat halus*. Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran No. 4 dan No.100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No. 100, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. Variasi ukuran dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik, yang sesuai dengan standar analisis saringan dari ASTM. Pasir yang digunakan untuk pembuatan beton adalah butiran- butiran mineral keras yang bentuknya mendekati bulat dan ukuran butirannya sebagian besar terletak antara 0,075 - 5 mm, dan kadar bagian yang ukurannya lebih kecil dari 0,063 mm tidak lebih dari 5%. Persyaratan pasir untuk bahan adukan beton adalah :

- 1) Kandungan bagian yang lewat ayakan 0,063 mm tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%, apabila kadar lumpur lebih dari 5%, maka agregat harus dicuci. Karena, pasir beton harus bersih dan bila diuji memakai larutan pencuci khusus, tinggi endapan pasir yang kelihatan dibandingkan dengan tinggi seluruh endapan tidak kurang dari 70%.
- 2) Angka kehalusan (*fineness modulus*) terletak antara 2,2 - 3,2 bila diuji memakai rangkaian ayakan dengan mata ayakan berukuran berturut-turut 0,16 - 0,315, 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 - 10 mm dengan fraksi yang lewat ayakan 0,3 mm minimal 15% berat.
- 3) Tidak mengandung garam yang menghisap air dan udara.
- 4) Pasir tidak boleh mengandung zat organik yang dapat mengurangi mutu beton. Untuk itu harus dibuktikan dengan percobaan warna

(dengan merendam dalam larutan 3% *NaOH*), cairan di atas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding.

- 5) Kekekalan terhadap larutan Na_2SO_4 atau Mg SO_4 sebagai berikut :

- a Terhadap larutan Na_2SO_4 : Fraksi yang hancur tidak lebih dari 12% berat.

- b Terhadap larutan Mg SO_4 : Fraksi yang hancur tidak lebih dari 10% berat.

- 6) Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi, reaksi pasir terhadap alkali harus negatif.

- 7) Harus mempunyai variasi besar butir atau gradasi yang baik (lihat Tabel.2).

2b). *Agregat kasar*. Agregat kasar adalah kerikil sebagai disintegrasi alami batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan butiran mineral keras yang sebagian besar butirnya mempunyai ukuran antara 5 sampai 80 mm. Agregat kasar yang akan dicampurkan sebagai adukan beton harus mempunyai syarat mutu yang ditetapkan dan besar butir maksimum yang diizinkan tergantung pada maksud pemakaiannya.

Pengujian tarik baja, kayu dan bambu sangat dipengaruhi oleh kuat tarik serta diameternya, sehingga perbedaan kuat leleh dan diameternya dapat membedakan momen yang akan terjadi. Data yang diperoleh dari pengujian tarik adalah kuat leleh baja, kayu dan bambu. Kuat maksimum baja, kayu dan bambu diambil rata-rata dari hasil pengujian benda uji tersebut. Untuk menghitung tegangan leleh dan tegangan maksimal dari baja, kayu dan bambu dapat dicari dengan rumus :

$$f_y = \frac{P_{leleh}}{A} \text{ dan } f_{maks} = \frac{P_{maks}}{A}$$

dengan :

P_{leleh} = kuat leleh baja, kayu dan bambu, (N).

P_{maks} = kuat tarik putus baja, kayu dan bambu, (N).

A = luas benda uji baja, kayu dan bambu, (mm^2).

f_y = tegangan leleh baja, kayu dan bambu, (MPa).

f_{maks} = tegangan maksimal baja, kayu dan bambu, (MPa).

Pengujian kuat tekan beton diperoleh dengan menguji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang ditekan pada sisi yang berbentuk lingkaran. Besarnya kuat tekan benda uji dapat dihitung dengan rumus:

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

dengan :

f'_c = kuat tekan beton, (MPa).

P = beban tekan maksimum, (N).

A = luas permukaan benda uji yang tertekan, (mm²).

Pengujian kuat lentur pelat beton bertulang sederhana (*simple beam*), menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, maka akan terjadi deformasi lentur didalam pelat tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, tegangan tekan terjadi pada bagian atas dan regangan tarik terjadi di bagian bawah dari penampa

Besarnya kuat lentur beton dari benda uji dihitung dengan rumus:

Kuat lentur, $M_r = 1/8 q.L^2 + 1/4 P.L$

Dengan : M_{retak} awal = Momen retak awal (kNm)

q = Beban merata (kN/m)

L = Panjang benda uji (m)

P = Beban lentur awal (kN)

Momen kapasitas pelat beton bertulang pada penelitian ini dirancang mengalami retak di tengah bentang (pada momen maksimum) dan dihindari adanya keretakan akibat geser dekat tumpuan. Apabila beban bertambah terus, maka retak-retak di tengah bentang bertambah dan retak awal yang sudah terjadi semakin lebar dan semakin panjang menuju sumbu netral penampang. Hal ini bersamaan dengan semakin besarnya lendutan di tengah bentang. Besarnya momen maksimal adalah besarnya momen akibat beban, dimana pada pelat terjadi keruntuhan di daerah tarik. Besarnya momen maksimal dapat dihitung sebagai berikut :

a) *Momen kapasitas pelat beton tulangan baja, kayu, dan bambu yang diperkuat dengan bambu secara hasil uji.* Pengujian momen

maksimal pelat persegi dimaksudkan untuk mengetahui besarnya momen yang dapat ditahan oleh pelat. Besarnya momen maksimal oleh beban luar pada benda uji dapat diuraikan sebagai berikut :

$$M_{mak} = \frac{1}{4} \cdot P_{maks} \cdot L + \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2$$

b) *Momen kapasitas pelat beton tulangan baja secara teoritis.* Untuk perhitungan gaya-gaya yang ditimbulkan oleh tulangan baja dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini :

$$A_s \cdot f_{tb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_{tk}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$M_{kap} = A_s \cdot f_{tb} \cdot (d - a/2)$$

dengan :

A_{sb} = Luas longitudinal tekan tulangan baja, (mm²).

f_{tb} = Kuat tarik baja, (N).

d_s' = Jarak antara pusat berat tulangan tarik pada baris paling dalam dan tepi serat beton tekan.

β_1 = faktor pembentuk tegangan beton persegi ekuvalen.

c) *Momen kapasitas pelat persegi tulangan kayu teoritis.* Untuk perhitungan gaya-gaya yang ditimbulkan oleh tulangan kayu dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini :

Tulangan tekan kayu diabaikan.

$$A_s \cdot f_{tk} = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_{tk}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$M_{kap} = A_s \cdot f_{tk} \cdot (d - a/2)$$

dengan :

A_{sk} = Luas longitudinal tekan tulangan kayu, (mm²).

f_{tk} = Kuat tarik kayu, (N).

d_s' = Jarak antara pusat berat tulangan tarik pada baris paling dalam dan tepi serat beton tekan.

β_1 = faktor pembentuk tegangan beton persegi ekuvalen.

d) *Momen kapasitas pelat persegi tulangan kayu dan bambu teoritis.* Untuk perhitungan gaya-gaya yang ditimbulkan oleh tulangan kayu/ bambu dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini :

Tulangan tekan kayu/ bambu diabaikan.

$$(A_{sk} \cdot f_{tk}) + (A_{sb} \cdot f_{tb}) = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$a = \frac{(A_{sk} \cdot f_{tk}) + (A_{sb} \cdot f_{tb})}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$M_{kap} = ((A_{sk} \cdot f_{tk}) + (A_{sb} \cdot f_{tb})) \cdot (d - a/2)$$

dengan :

A_{sk} = Luas longitudinal tekan tulangan kayu, (mm²).

A_{sb} = Luas longitudinal tekan tulangan bambu, (mm²).

f_{tk} = Kuat tarik kayu, (N).

f_{tb} = Kuat tarik bambu, (N).

d_s' = Jarak antara pusat berat tulangan tarik pada baris paling dalam dan tepi serat beton tekan.

β_1 = faktor pembentuk tegangan beton persegi ekuvalen.

Rasio Modular

Rasio modular adalah perbandingan modulus elastisitas bahan (E_b) dengan modulus elastisitas baja (E_s). Rasio modular ini digunakan untuk mentransformasikan tulangan bahan (kayu) menjadi tulangan baja.

Nilai modulus elastisitas baja umumnya diambil sebesar 2.105 MPa.

$$\text{Rasio modular, } (n) = E_s/E_b$$

dengan :

$$n = \text{Rasio modular}$$

E_s = modulus elastisitas baja, (MPa).

E_b = modulus elastisitas bahan

(kayu/ bambu), (MPa).

Lendutan

Satu hal yang penting dari struktur beton bertulang adalah masalah lendutan yang terjadi akibat beban yang bekerja. Struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan yang mungkin memperlemah kekuatan. Lendutan untuk pelat yang ditumpu oleh tumpuan sederhana dengan beban terpusat ditengah bentang dan beban merata sepanjang bentang adalah:

$$\delta = \frac{P_{maks} L^3}{48 EI} + \frac{5 q L^4}{384 EI}$$

Pada dasarnya untuk menghindari keruntuhan, lendutan yang terjadi dibatasi oleh lendutan ijin maksimum, yaitu tidak boleh lebih besar dari $\frac{L}{240}$

dengan :

δ = Lendutan yang terjadi pada pelat beton, (mm).

P_{maks} = Beban maksimum, (kN).

L = Jarak antar tumpuan, (mm).

q = Berat sendiri beton, (kN/mm).

E = Modulus elastisitas beton, (MPa)

I = Momen inersia, (mm⁴).

METODE PENELITIAN

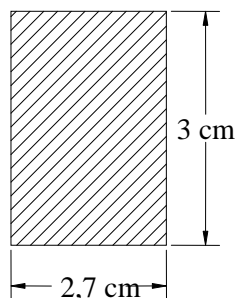
Desain benda uji yang pertama yaitu menentukan dimensi kayu jati yang digunakan sebagai pengganti tulangan baja adalah sebagai berikut:

a. Tulangan pokok

Direncanakan dimensi penampang kayu = 2,7 x 3 cm

$E_s = 2.105 \text{ MPa}$

$\varnothing = 0,8 \text{ cm}$

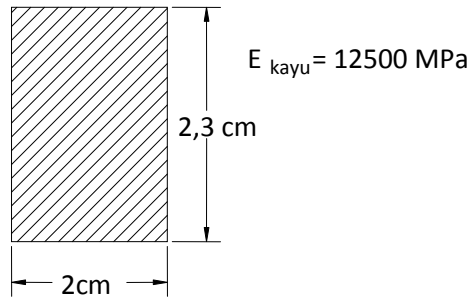


$E_{kayu} = 12500 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio moduler, (n)} &= E_s/E_{\text{kayu}} \\
 &= 2.10^5/12500 \\
 &= 16 \\
 \text{As baja} &\approx \text{As kayu}/n \\
 (0,25 \times 3,14 \times 0,8^2) &\approx m(2,7 \times 3)/16 \\
 0,5027 &\approx 0,50625 \text{ m} \\
 \text{Jumlah kayu, m} &= 0,9929 \approx 1 \text{ batang} \\
 \text{Jadi kekuatan D8} &\approx 1 \text{ batang kayu}
 \end{aligned}$$

b. Tulangan bagi

Direncanakan dimensi penampang kayu = 2 x 2,3 cm



$$\begin{aligned}
 E_s &= 2.105 \text{ MPa} \\
 \varnothing &= 0,6 \text{ cm} \\
 \text{Rasio moduler, (n)} &= E_s/E_{\text{kayu}} \\
 &= 2.10^5/12500 \\
 &= 16 \\
 \text{As baja} &\approx \text{As kayu}/n \\
 (0,25 \times 3,14 \times 0,6^2) &\approx m(2 \times 2,3)/16 \\
 0,2826 &\approx 0,2875 \text{ m} \\
 \text{Jumlah kayu, m} &= 0,9829 \approx 1 \text{ batang} \\
 \text{Jadi kekuatan 1D6} &\approx 1 \text{ batang kayu berukuran } 2 \times 2,3 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan sesuai dengan berbagai tahap, seperti yang telah dijabarkan dalam tahap-tahap penelitian dalam bagan alir yang meliputi sebagai berikut:

6a). *Hasil Pengujian Pelat Beton Bertulang Baja.* Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan, didapatkan momen kapasitas dan lendutan yang terjadi pada pelat beton bertulangan baja dapat dilihat pada Tabel 19.

Tabel 19. Momen kapasitas dan lendutan pelat beton bertulangan baja dari hasil pengujian

No	Kode	P (kN)	q (kN/m)	L (m)	M _{uji} (kNm)
1	B1	55	1,3812	1	13,9227
2	B2	52	1,3812	1	13,1727
3	B3	50	1,3812	1	12,6727
Rata-rata =					13,256

6b). Hasil Perhitungan secara analisis Pelat Beton Bertulang Baja. Berdasarkan hasil perhitungan secara analisis, didapatkan berat jenis, momen kapasitas dan lendutan yang terjadi pada pelat beton bertulangan baja dapat dilihat pada Tabel 20.

Tabel 20. Momen kapasitas dan lendutan pelat beton bertulangan baja dari perhitungan secara analisis

No	b (mm)	h (mm)	$d_s = d_s'$ (mm)	d (mm)	ϕ (mm)	f'_c (MPa)
1	500	120	28,915	91,085	7,83	20,372
2	500	120	28,915	91,085	7,83	20,372
3	500	120	28,915	91,085	7,83	20,372

f_y (MPa)	f_{kap} (MPa)	A_s (mm ²)	a (mm)	M_{kap} (kN.m)
320,167	400,208	288,765	10,678	9,909
320,167	400,208	288,765	10,678	9,909
320,167	400,208	288,765	10,678	9,909

6c). Hasil Pengujian Pelat Beton Bertulang Kayu. Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan, didapatkan momen kapasitas dan lendutan yang terjadi pada Pelat beton bertulangan kayu dapat dilihat pada Tabel 21.

Tabel 21. Momen kapasitas dan lendutan Pelat beton bertulangan kayu dari hasil pengujian

No	Kode	P (kN)	q (kN/m)	L (m)	M_{uji} (kNm)
1	K1	76	1,381	1	19,17
2	K2	80	1,381	1	20,17
3	K3	75	1,381	1	18,92
Rata-rata =					19,42

6d). Hasil Perhitungan Secara Analisis Pelat Beton Bertulang Kayu. Berdasarkan hasil perhitungan secara analisis, momen kapasitas dan lendutan yang terjadi pada pelat beton bertulangan kayu dapat dilihat pada Tabel 22.

Tabel 22. Momen kapasitas dan lendutan pelat beton bertulangan kayu dari perhitungan secara analisis

No	b (mm)	h (mm)	$d_s = d_s'$ (mm)	d (mm)	b_k (mm)	h_k (mm)
1	500	120	40	80	27	30
2	500	120	40	80	27	30
3	500	120	40	80	27	30

f'_c (MPa)	f_{tk} (MPa)	A_s (mm ²)	a (mm)	M_{kap} (kN.m)
20,372	69,22	4860	38,856	20,378
20,372	69,22	4860	38,856	20,378
20,372	69,22	4860	38,856	20,378

6e). *Hasil Pengujian Pelat Beton Bertulang Kayu dan Bambu.* Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan, didapatkan momen kapasitas dan lendutan yang terjadi pada pelat beton bertulangan kayu dan bambu dapat dilihat pada Tabel 23.

Tabel 23. Momen kapasitas dan lendutan pelat beton bertulangan kayu dan bambu dari hasil pengujian

No	Kode	P (kN)	q (kN/m)	L (m)	M_{uji} (kNm)
1	KB1	82	1,3812	1	20,6727
2	KB2	80	1,3812	1	20,1727
3	KB3	85	1,3812	1	21,4227
Rata-rata =					20,756

6f). *Hasil Perhitungan secara analisis Pelat Beton Bertulang Kayu dan Bambu.* Berdasarkan hasil perhitungan secara analisis, didapatkan momen kapasitas dan lendutan yang terjadi pada pelat beton bertulangan kayu dan bambu dapat dilihat pada Tabel 24.

Tabel 24. Momen kapasitas dan lendutan pelat beton bertulangan kayu dan bambu dari perhitungan secara analisis

No	b (mm)	h (mm)	$d_s = d_s'$ (mm)	d (mm)	b_k (mm)	h_k (mm)	b_b (mm)
1	500	120	42,5	77,5	27	30	27
2	500	120	42,5	77,5	27	30	27
3	500	120	42,5	77,5	27	30	27

h_b (mm)	f'_c (MPa)	f_{tk} (MPa)	f_{tb} (MPa)	A_{sk} (mm ²)	A_{sb} (mm ²)	a (mm)	M_{kap} (kN.m)
5	20,372	69,222	90,237	4860	810	47,29851	22,052
5	20,372	69,222	90,237	4860	810	47,29851	22,052
5	20,372	69,222	90,237	4860	810	47,29851	22,052

6g). *Perbandingan Momen Kapasitas Teori/ Hasil uji untuk tulangan baja.* Perbandingan antara momen kapasitas secara pengujian dan momen kapasitas secara teori.

Berdasarkan Tabel V.16 diperoleh $M_{kap,uji}$ rata-rata sebesar 13,256 kN.m sedangkan $M_{kap,teori}$ rata-rata diperoleh berdasarkan Tabel V.17 yaitu sebesar 9,909 kN.m. Dengan demikian besarnya momen kapasitas secara pengujian adalah 133,77% dari

momen kapasitas secara teori. Jadi momen pada penelitian lebih besar daripada momen teoritis yaitu mengalami kenaikan sebesar 33,77 %.

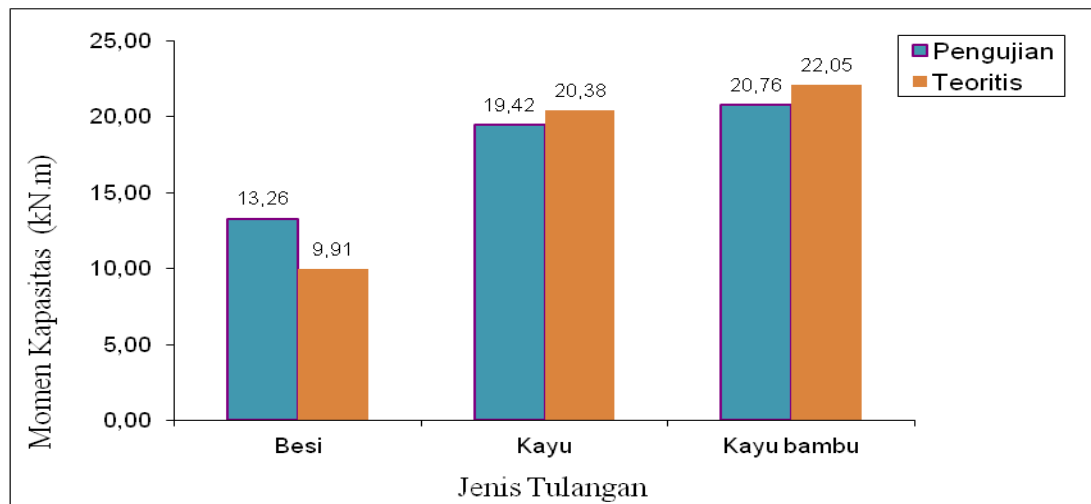
6h). *Perbandingan Momen Kapasitas Teori/ Hasil uji untuk tulangan kayu.* Perbandingan antara momen kapasitas secara pengujian dan momen kapasitas secara teori.

Berdasarkan Tabel V.18 diperoleh $M_{\text{kap.uji}}$ rata-rata sebesar 19,42 kN.m sedangkan $M_{\text{kap.teori}}$ rata-rata diperoleh berdasarkan Tabel V.19 yaitu sebesar 20,378 kN.m. Dengan demikian besarnya momen kapasitas secara pengujian adalah 95,31 % dari momen kapasitas secara teori. Jadi momen pada penelitian mengalami penurunan sebesar 4,69 % dari momen kapasitas secara teori. Menunjukkan bahwa hasil penelitian perlu untuk dikoreksi karena seharusnya kondisi yang ideal momen teoritis lebih kecil dari momen penelitian. Hal ini bisa terjadi karena adanya kelemahan-kelemahan atau kekurangan-kekurangan yang terjadi saat pelaksanaan pembuatan benda uji, seperti pencucian pasir kurang bersih serta ketelitian dalam menimbang agregat.

6i). *Perbandingan Momen Kapasitas Teori/ Hasil uji untuk tulangan kayu dan bambu.* Perbandingan antara momen kapasitas secara pengujian dan momen kapasitas secara teori.

Berdasarkan Tabel V.20 diperoleh $M_{\text{kap.uji}}$ rata-rata sebesar 20,756 kN.m sedangkan $M_{\text{kap.teori}}$ rata-rata diperoleh berdasarkan Tabel V.21 yaitu sebesar 22,052 kN.m. Dengan demikian besarnya momen kapasitas pengujian adalah 94,121 % dari momen kapasitas teori. Jadi momen kapasitas pengujian mengalami penurunan sebesar 5,879 % dari momen kapasitas teori. Ini menunjukkan bahwa hasil penelitian perlu untuk dikoreksi karena seharusnya kondisi yang ideal momen teoritis lebih kecil dari momen penelitian. Hal ini bisa terjadi karena adanya kelemahan-kelemahan atau kekurangan-kekurangan yang terjadi saat pelaksanaan pembuatan benda uji maupun pencampuran beton yang kurang homogen karena terlalu banyak.

6j). *Grafik perbandingan antara momen teori dengan momen penelitian.*



Grafik V.3. Perbandingan antara momen kapasitas teori dengan penelitian.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan hitungan yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) $M_{\text{kap.uji}}$ rata-rata sebesar 13,256 kN.m sedangkan $M_{\text{kap.teori}}$ rata-rata diperoleh yaitu sebesar 9,909 kN.m. Dengan demikian besarnya momen kapasitas secara pengujian mengalami kenaikan sebesar 33,77 % dari momen kapasitas secara teori.
- 2) $M_{\text{kap.uji}}$ rata-rata sebesar 19,42 kN.m sedangkan $M_{\text{kap.teori}}$ rata-rata diperoleh yaitu sebesar 20,378 kN.m. Dengan demikian besarnya momen kapasitas secara pengujian mengalami penurunan sebesar 4,69 % dari momen kapasitas secara teori.
- 3) $M_{\text{kap.uji}}$ rata-rata sebesar 20,756 kN.m sedangkan $M_{\text{kap.teori}}$ rata-rata diperoleh yaitu sebesar 22,052 kN.m. Dengan demikian besarnya momen kapasitas secara pengujian mengalami penurunan sebesar 5,879 % dari momen kapasitas secara teori.
- 4) Momen kapasitas pelat beton bertulang kayu Jati lebih besar dari pada pelat beton bertulang baja dengan selisih rasio perbandingan 31,74 %.
- 5) Momen kapasitas pelat beton bertulang kayu mengalami kenaikan sebesar 6,437 % setelah pelat beton bertulangan kayu tersebut diperkuat dengan bambu.
- 6) Besarnya lendutan balok beton bertulang secara pengujian lebih besar dari pada lendutan secara teori.

SARAN – SARAN

Hal-hal yang dapat disarankan pada penelitian ini antara lain:

- 1) Dalam penelitian yang dilakukan ini, penggunaan tulangan kayu dan bambu bisa digunakan sebagai pengganti tulangan memanjang baja pada pelat beton bertulang, khususnya untuk bangunan semi permanen.
- 2) Perbedaan antara momen kapasitas pelat beton bertulang baja dan pelat beton bertulang kayu sangat jauh. Oleh karena itu, sebaiknya dilakukan pengujian tarik kayu terlebih dahulu, supaya dapat menentukan dimensi kayu yang sesuai untuk pengganti tulangan baja.
- 3) Dalam melakukan pengujian, sebaiknya harus sangat teliti karena dengan kesalahan yang kecil akan mengakibatkan ketidaksesuaian data.
- 4) Perlu dilakukan penelitian lanjut untuk mendapatkan hasil penelitian yang jauh lebih baik dari penelitian yang dilakukan ini, yaitu dengan menggunakan jumlah sampel yang lebih banyak lagi agar didapatkan data yang lebih bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim., 1984. *Penyelidikan Bambu Untuk Tulangan Beton*, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Asroni, A., 1997. *Struktur Beton I (Balok dan Plat Beton Bertulang)*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Asroni, A., 2001. *Struktur Beton Lanjut*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Mulyono, T., 2005. *Teknologi Beton*, C.V. Andi Offset, Yogyakarta.

Departemen Pekerjaan Umum, 1971. "*Peraturan Umum Bahan Bangunan Indonesia*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum, 1971. "*Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

Nugroho, David., 2012. "*Pemanfaatan Bambu Sebagai Alternatif Pengganti Tulangan Baja Pada Pelat Beton Pra Cetak Dengan Perkuatan Tali Timba*", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta (Tidak dipublikasikan).